
This paper not to be cited without prior reference to the author.

Les Transferts de l'Azote au bassin de chasse d'Ostende.

Jo PODAMO,
Laboratorium voor Ekologie en Systematiek
VUB

Parce que l'azote constitue bien souvent l'élément limitant de la production dans les milieux marins, la description de sa circulation à travers un écosystème peut apporter des informations de première importance dans le domaine de l'écologie fondamentale ou appliquée.

Dans une série de trois articles récents, nous présentions une tentative d'établissement d'un bilan annuel du rôle quantitatif respectivement des producteurs primaires, du zooplancton et des sédiments dans le cycle de l'azote au bassin de chasse d'Ostende. (Jo PODAMO, 1974 a, b, c.)

Le présent rapport constitue une synthèse de ces trois études; il y est ajouté certains résultats récents non encore publiés ainsi qu'une discussion de l'évolution saisonnière des transferts de l'azote au bassin de chasse.

I. BILAN ANNUEL DES TRANSFERTS DE L'AZOTE.

La production du phytoplancton au cours des années 1971 et 1972 a été évaluée par la méthode d'incorporation de $C^{14}O_2$ réalisée in situ et in vitro. L'ordre de grandeur de la production du phytobenthos a été estimé pour l'année

This paper not to be cited without prior reference to the author.

Les Transferts de l'Azote au bassin de chasse d'Ostende.

Jo PODAMO,
Laboratorium voor Ekologie en Systematiek
VUB

Parce que l'azote constitue bien souvent l'élément limitant de la production dans les milieux marins, la description de sa circulation à travers un écosystème peut apporter des informations de première importance dans le domaine de l'écologie fondamentale ou appliquée.

Dans une série de trois articles récents, nous présentons une tentative d'établissement d'un bilan annuel du rôle quantitatif respectivement des producteurs primaires, du zooplancton et des sédiments dans le cycle de l'azote au bassin de chasse d'Ostende. (Jo PODAMO, 1974 a, b, c.)

Le présent rapport constitue une synthèse de ces trois études; il y est ajouté certains résultats récents non encore publiés ainsi qu'une discussion de l'évolution saisonnière des transferts de l'azote au bassin de chasse.

I. BILAN ANNUEL DES TRANSFERTS DE L'AZOTE.

La production du phytoplancton au cours des années 1971 et 1972 a été évaluée par la méthode d'incorporation de $C^{14}O_2$ réalisée in situ et in vitro. L'ordre de grandeur de la production du phytobenthos a été estimé pour l'année

1973 sur la base de mesures de production d'oxygène (PODAMO, 1974 a).

L'étude de l'évolution saisonnière du zooplancton a permis d'estimer sa production, son excrétion, sa mortalité et son grazing pour l'année 1972 (PODAMO, 1974 b).

Une étude basée sur l'analyse bactériologique et chimique de carottes de sédiment prélevées en 1973 a permis d'évaluer l'intensité des processus de recyclage de l'azote dans les sédiments (PODAMO, 1974 c).

En outre, quelques mesures de l'activité des microorganismes hétérotrophes aérobies (bactéries et éventuels protozoaires) dans l'eau du bassin de chasse ont été réalisées en 1973, en suivant au cours du temps la consommation d'oxygène à l'obscurité (Cl. JOIRIS, 1973). Cette consommation varie entre les limites de 1 à 10 μ moles d'oxygène par litre et par heure, ce qui correspond à une libération d'ammoniac de 30 à 300 mg N par m^3 et par jour, si l'on admet l'équation suivante pour la respiration par des microorganismes accroissant peu leur biomasse, de matériel organique d'origine phytoplanctonique:



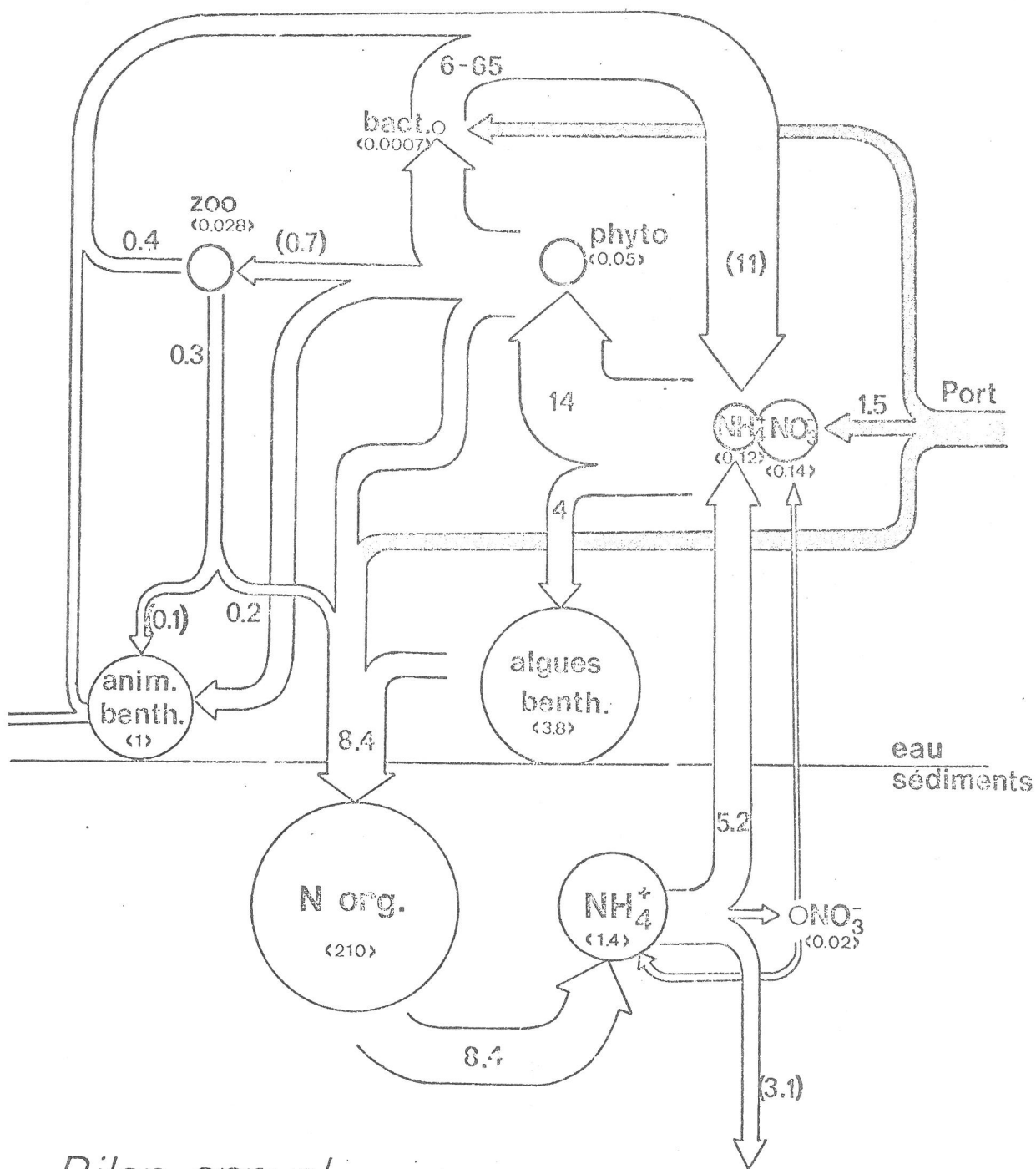
Remarquons que cette mesure n'englobe pas que la respiration des organismes hétérotrophes mais aussi celle du phytoplancton.

Toutes ces valeurs ont été exprimées en mg N par m^2 et pendant la période étudiée (6 mois), dans un but de comparaison.

L'intégration de toutes ces données fournit le diagramme de la figure 1 dans lequel les flux de matière (production, grazing, excrétions, diffusion...) sont représentés par des flèches, et les valeurs moyennes des grandeurs statiques (biomasses, concentrations...) par des cercles.

Une telle représentation met bien en évidence le turn-over élevé de l'azote à travers les divers composants de l'écosystème: l'azote minéral dissous dans l'eau du bassin au début de la saison (où sa concentration est cependant 50 à 100 fois plus élevée qu'en été) ne représente que moins de 10 % de l'uptake total annuel par les végétaux. La haute production du bassin de chasse n'est donc possible que grâce à l'efficacité des mécanismes de recyclage: production d'ammonium par les bactéries (directement ou après consommation et excrétion par le microzooplancton), excrétion d'ammonium par le zooplancton herbivore, diffusion d'ammonium depuis les sédiments.

L'uptake du phytoplancton et du phytobenthos ayant été estimé à 18 gr N par m^2 en 6 mois, l'excrétion du zooplancton herbivore à 0.4 g N par m^2 par 6 mois et la diffusion d'ammonium depuis les sédiments à 5.2 g N par m^2 en 6 mois, nous sommes conduits à postuler pour l'activité des bactéries planctoniques une valeur de l'ordre de 11 g N par m^2 en 6 mois. Les quelques mesures d'activité hétérotrophe aérobie réalisées confirment cet ordre de grandeur.



Bilan annuel

flux : gN/m².6 mois
masses station. : gN/m²

Les bactéries benthiques et planctoniques semblent donc jouer un rôle dominant dans le recyclage des nutriments au bassin de chasse d'Ostende. Ceci différencie cet écosystème des océans et des lacs profonds dans lesquels, selon JOHANNES (1968), le recyclage des nutriments se ferait essentiellement par l'intermédiaire des excréments du zooplancton herbivore.

II. EVOLUTION SAISONNIERE DES TRANSFERTS DE L'AZOTE.

Les mécanismes de recyclage dont l'effet total sur toute la période étudiée est globalisé dans la figure 1 n'ont pas la même importance relative tout au long de la saison. Si la diffusion d'ammonium depuis les sédiments est relativement constante au cours de la saison (cela grâce à l'énorme réserve d'azote organique dans la fraction solide du sédiment, qui soustrait l'activité bactérienne benthique à l'influence immédiate des variations de la production dans l'eau), les autres processus de recyclage présentent des fluctuations saisonnières beaucoup plus importantes. Ainsi par exemple, le zooplancton connaît un pic très intense au mois de mai et joue un rôle beaucoup plus effacé pendant les autres mois de l'année. Les bactéries planctoniques semblent dépendre directement, tout au moins en l'absence d'ouverture des écluses du bassin, de la matière organique élaborée par le phytoplancton et subissent des fluctuations parallèles aux pics de phytoplancton, mais décalées dans le temps (PODAMO, 1973).

Schématiquement, trois périodes successives peuvent être distinguées sur la base des modes de transfert de l'azote, pendant la période de fermeture des écluses au bassin de chasse. La description que nous en faisons ici est d'ordre qualitatif parce que nos résultats ne nous permettent pas encore de nous livrer à un bilan quantitatif précis par période. Notre but est d'illustrer les relations générales existant dans l'écosystème. Nous nous basons pour le faire sur des résultats concernant les années 1971, 1972, 1973. Il est bien évident que d'une année à l'autre les phénomènes varient quelque peu en raison de petites différences des facteurs climatiques et, surtout, du régime d'ouvertures partielles des écluses. Néanmoins, l'allure générale de l'évolution saisonnière est la même chaque année depuis 1971 d'après nos propres résultats, et depuis 1960 autant qu'on puisse en juger d'après les résultats publiés dans la littérature (LELOUP et VAN MEEL, 1965; LELoup et collab., 1960 ; DARO, résultats non publiés.) C'est cette allure générale que nous tentons d'interpréter en terme de "métabolisme" azoté de l'écosystème.

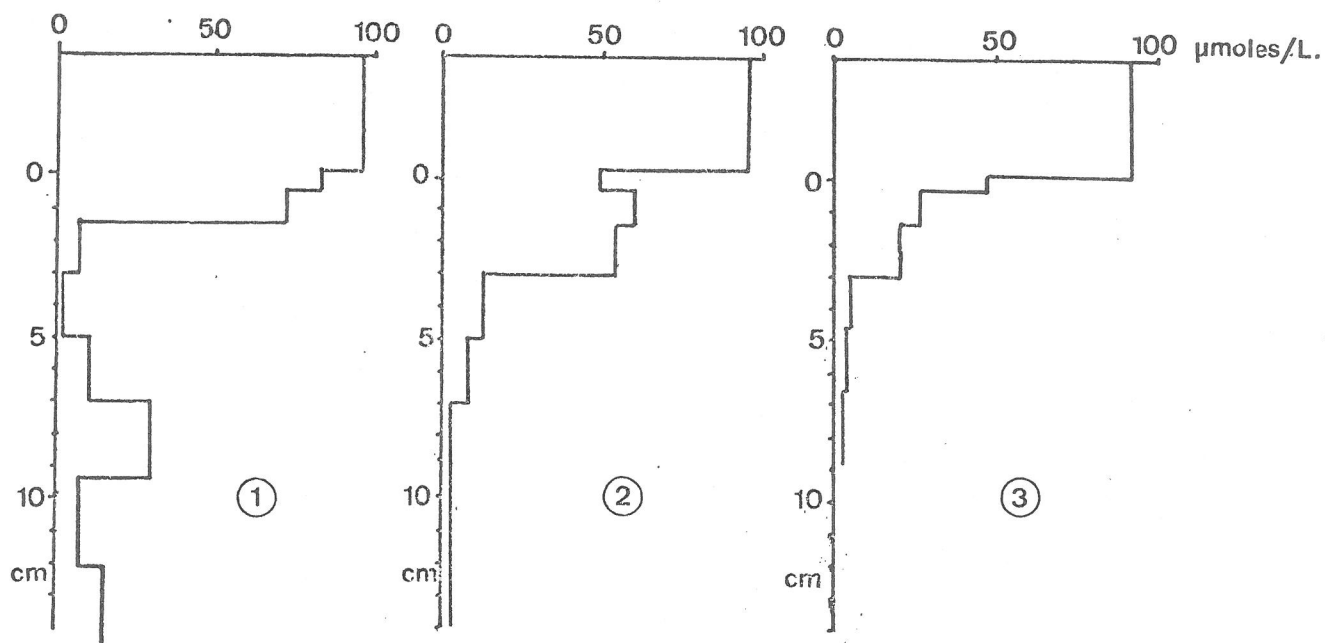


FIGURE 2. Profil de la concentration en nitrates dans l'eau intersti-
cielle des sédiments du Bassin de chasse d'Ostende.

- | | |
|--------------------------|-----------|
| 1. Zone vaseuse centrale | 20.3.1973 |
| 2. Zone vaseuse Nord | 22.3.1973 |
| 3. Zone sableuse Est | 19.3.1973 |

ig 2

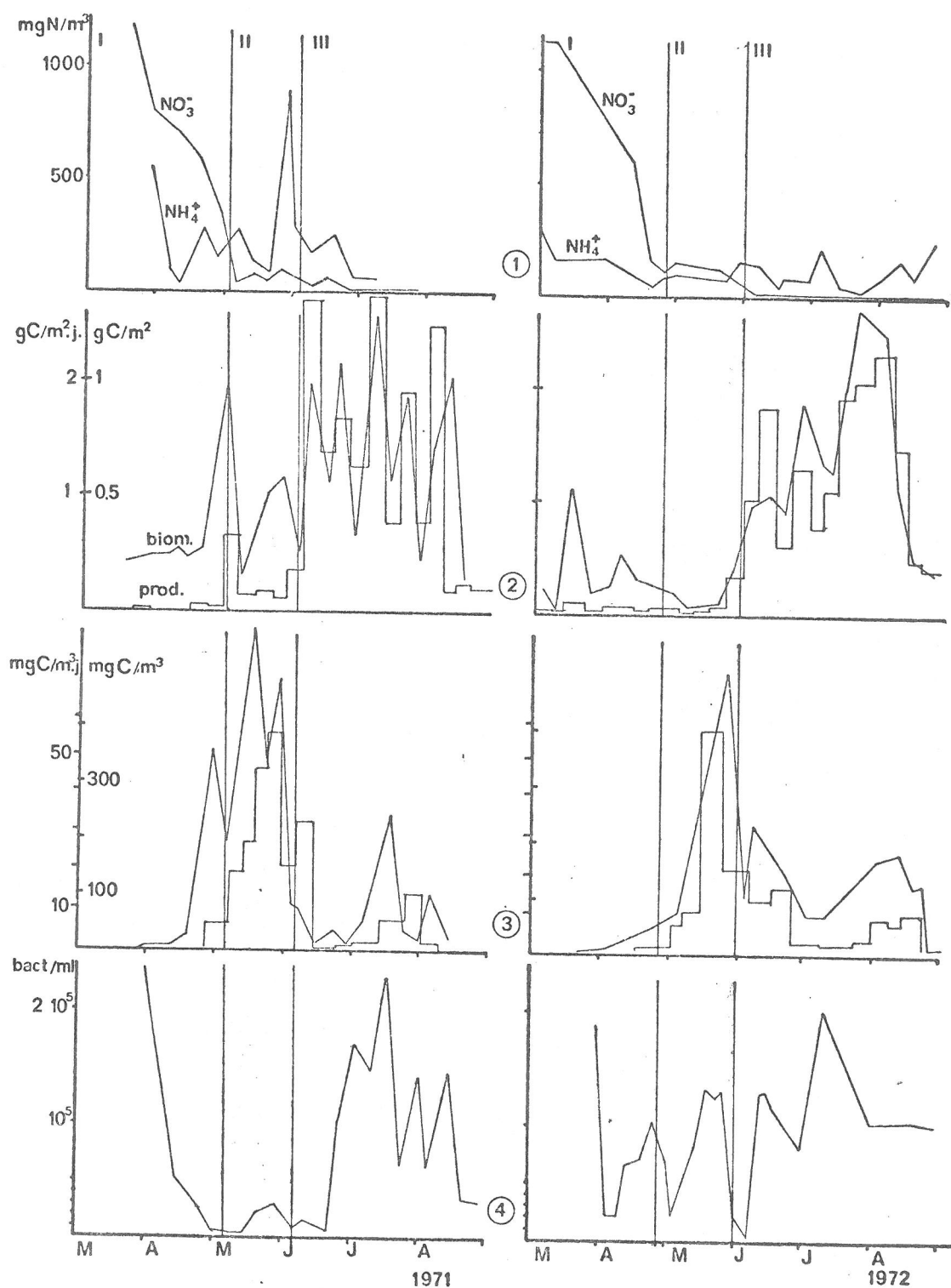


FIGURE 3. Evolution saisonnière des paramètres liés à l'activité biologique dans l'eau du bassin de chasse d'Ostende en 1971 et 1972.

1. Concentration en nitrate et ammonium.
2. Production in situ (histogramme) et biomasse (ligne brisée) du phytoplancton.
3. Production (in situ) (histogramme) et biomasse (ligne brisée) du zooplancton.
4. Biomasse des bactéries planctoniques.

Les lignes verticales séparent les trois périodes considérées dans cette étude.

La première période va de la fermeture des écluses en mars à la fin du mois d'avril. Elle est caractérisée par une haute teneur de l'eau en azote dissous (particulièrement en nitrate). Cet azote, amené du port lors du remplissage du bassin, est entièrement consommé pendant la durée de cette période. 1500 mgr N/m^3 sont ainsi soustraits de la phase aqueuse en deux mois environ, ce qui montre une consommation moyenne journalière d'environ $25 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{jour}$. Remarquons que les phosphates, présents en quantité surabondante ne subissent pas une telle diminution et resteront en concentrations élevées tout au long de l'année.

La production primaire est relativement faible (environ $5 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{jour}$ pour le phytoplancton en 1972, et une valeur probablement du même ordre de grandeur pour le phytobenthos) et semble limitée par un facteur physique (lumière ou température) plutôt que par les macronutriments, présents en concentrations élevées.

Les mécanismes de recyclage apparaissent peu intenses:

Le zooplancton herbivore, en densité extrêmement faible ne joue aucun rôle pendant cette période.

Les bactéries planctoniques subissent une chute exponentielle probablement due à l'épuisement rapide des matières organiques exogènes introduites lors du remplissage du bassin (PODAMO, 1973).

La diffusion des nutriments depuis les sédiments doit être quelque peu ralentie, le gradient de diffusion à l'interface sédiment-eau étant d'autant plus faible que la concentration dans l'eau est forte. Cet effet est probablement assez peu prononcé en ce qui concerne l'ammonium à cause des très hautes teneurs réalisées dans l'eau interstitielle et la diffusion peut être considérée comme constante. Pour les nitrates, au contraire, les concentrations très élevées dans l'eau permettent l'établissement d'un gradient inversé aboutissant à une diffusion des nitrates depuis l'eau vers les sédiments où ils sont réduits par la dénitrification (figure 2). La mesure de ce gradient permet d'estimer l'intensité de ce phénomène à $3-5 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{jour}$ pendant cette première période en 1973.

L'ensemble de ces données sont représentées schématiquement sur le diagramme de la figure 3. Pendant cette première période, l'écosystème manifeste donc un comportement "eutrophe": les communautés vivantes consomment des éléments azotés d'origine exogène sans en assurer le recyclage de manière importante.

La deuxième période (fin avril à début juin) est caractérisée par le brusque développement du zooplancton. L'intensité du grazing pendant cette période (en moyenne environ $10 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{jour}$ en 1972) est telle que la production du phytoplancton toute entière (en moyenne pour 1972 environ $12 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{jour}$) y est consommée. Le phytoplancton parvient donc à peine à renouveler sa biomasse au rythme où elle est consommée, mais ne parvient pas à l'accroître, ce qui empêche l'appari-

tion d'un bloom printannier au bassin de chasse.

D'autre part, l'azote, dont la concentration dans l'eau est assez faible à cette époque, est un élément limitant de la production primaire, comme le montrent les résultats des expériences de stimulation de la production primaire potentielle par addition d'ammonium et de nitrate (Tableau 1).

Les bactéries planctoniques, tout au moins en l'absence d'ouverture des écluses, sont en faible nombre pendant cette période, de sorte que c'est le zooplancton herbivore qui effectue par ses excréments la plus grande partie du recyclage au sein même de l'eau du bassin, et assure ainsi au phytoplancton un flux d'azote lui permettant de maintenir sa production.

La troisième période (début juin à fin août) est marquée par le développement intense du phytoplancton (production moyenne de $160 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{jour}$). Les faibles concentrations en azote dissous dans l'eau sont également limitantes pendant cette période (Tableau 1). La haute production primaire ne peut donc se maintenir que grâce à des apports d'azote recyclé extrêmement important.

Le zooplancton n'a plus qu'un rôle très effacé dans ce recyclage (ses excréments ne constituant qu'un apport d'azote moyen de $3 \text{ mg N/m}^2 \cdot \text{jour}$).

Les bactéries planctoniques par contre sont dans une période d'intense prolifération assurément rendue possible par la production massive de matière organique par le phytoplancton. La très rapide succession des populations nanoplanctoniques pendant cette période estivale (PODANO, 1974d) montre en effet la très grande mortalité naturelle du phytoplancton, malgré l'absence de grazing. Par la décomposition rapide des cellules végétales mortes, les bactéries planctoniques jouent probablement le rôle principal dans le recyclage de l'azote et le maintient des taux élevés de production primaire.

On voit donc se succéder dans cet écosystème trois périodes nettement différenciées en ce qui concerne l'"écométabolisme" de l'azote: dans une première phase, l'écosystème accumule la biomasse aux dépens des nutriments exogènes qui s'épuisent rapidement. Dans la période qui suit l'azote est alors devenu limitant pour la production primaire qui ne peut se maintenir que dans la mesure où des mécanismes de recyclage régénèrent régulièrement l'azote consommé. Outre la diffusion d'ammonium depuis les sédiments, qui assure un apport régulier d'azote tout au long de l'année, les mécanismes de recyclage qui entrent successivement en œuvre sont l'excrétion par le zooplancton (période II) et l'ammonification par les bactéries planctoniques (période III).

La haute production annuelle du bassin de chasse d'Ostende (POLK et BURD,

1965) est due davantage à l'efficience de ces mécanismes de recyclage qu'à une eutrophisation au sens où ce terme suppose habituellement des apports de nutriments exogènes.

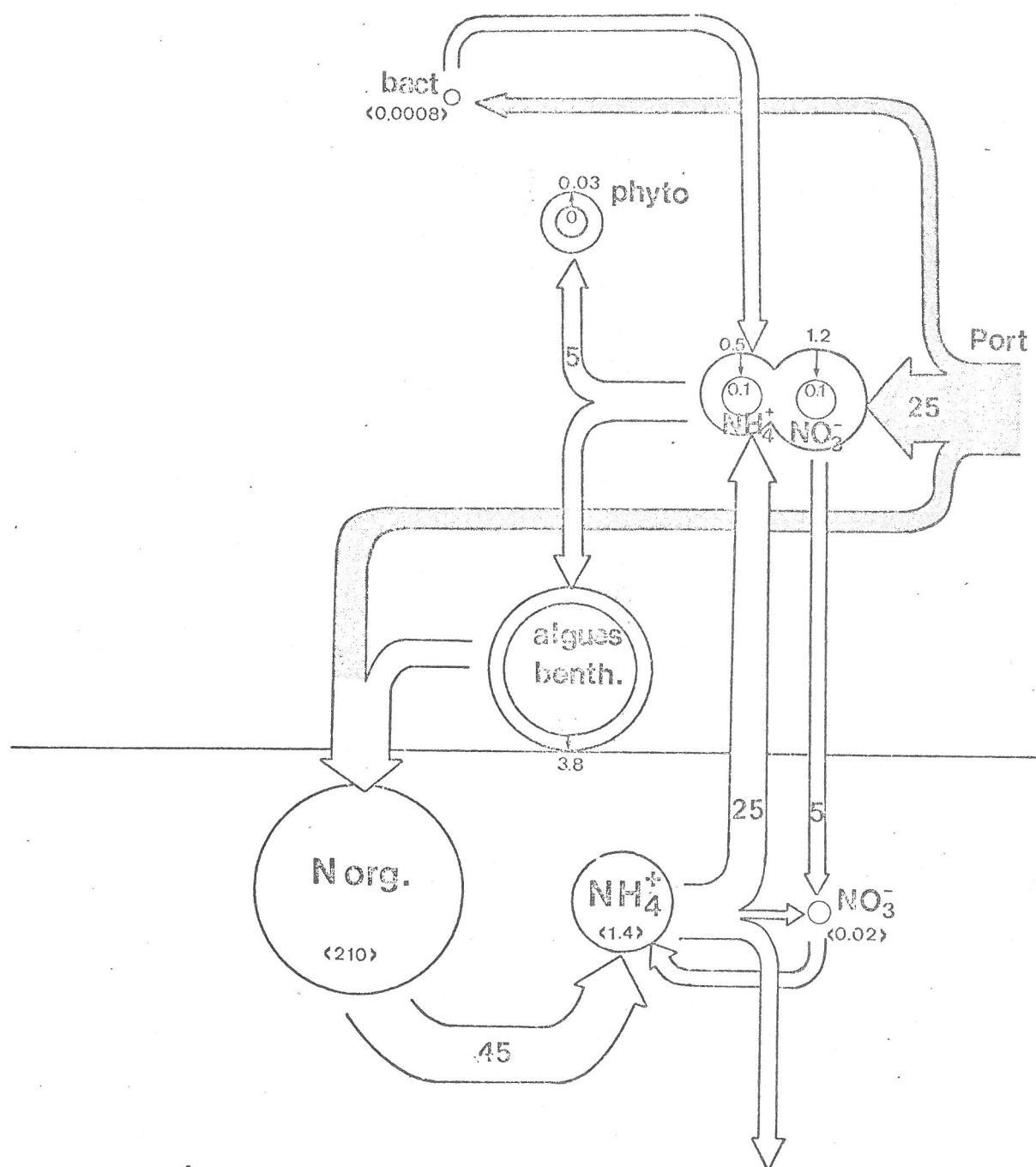
REFERENCES.

- JOHANNES, R.E., 1968. Nutrient regeneration in lakes and oceans. *Adv. Microbiol. Sea*, 1, 203- 213.
- JOIRIS, Cl, 1973 . Mesure de la vitesse initiale de consommation d'oxygène. Technical report CIPS.
- PODAMO, Jo, 1972. Relation entre des populations successives de phytoplancton et de bactéries hétérotrophes dans le bassin de chasse d'Ostende (Belgique) en 1971. *Ann. Soc. Roy. Zool. Belg.*, 102, 135-142.
- PODAMO, Jo, 1974 a,b,c. Essai de bilan annuel des transferts de l'azote au bassin de chasse d'Ostende.
- I. Utilisation de l'azote par le phytoplancton et le phytobenthos.
 - II. Le rôle du zooplancton dans le cycle de l'azote.
 - III. Recyclage de l'azote dans les sédiments.
- à paraître dans *Mededelingen der Hydrobiologische Vereniging*. également publiés sous forme de technical report CIPS.
- PODAMO, Jo, 1974 d. Seasonal variations of phytoplanktonic populations in the Sluice Dock at Ostend. in preparation.
- POLK, Ph. et BURD, A.C., 1965. Productivity of the Bassin de Chasse in Ostend. *Nature*, 205, 101-103.
- LELOUP, E. et VAN MEEL, L., 1965. La flore et la faune du bassin de chasse d'Ostende. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Mémoire n° 154.
- LELOUP, E. et coll., 1960. Recherches sur l'ostréiculture dans le bassin de chasse d'Ostende en 1960. Ministère de l'agriculture. Commission TWOZ. Groupe de travail "ostréiculture".

TABIEAU I. Stimulation de la production primaire potentielle par addition d'un nutriment azoté.

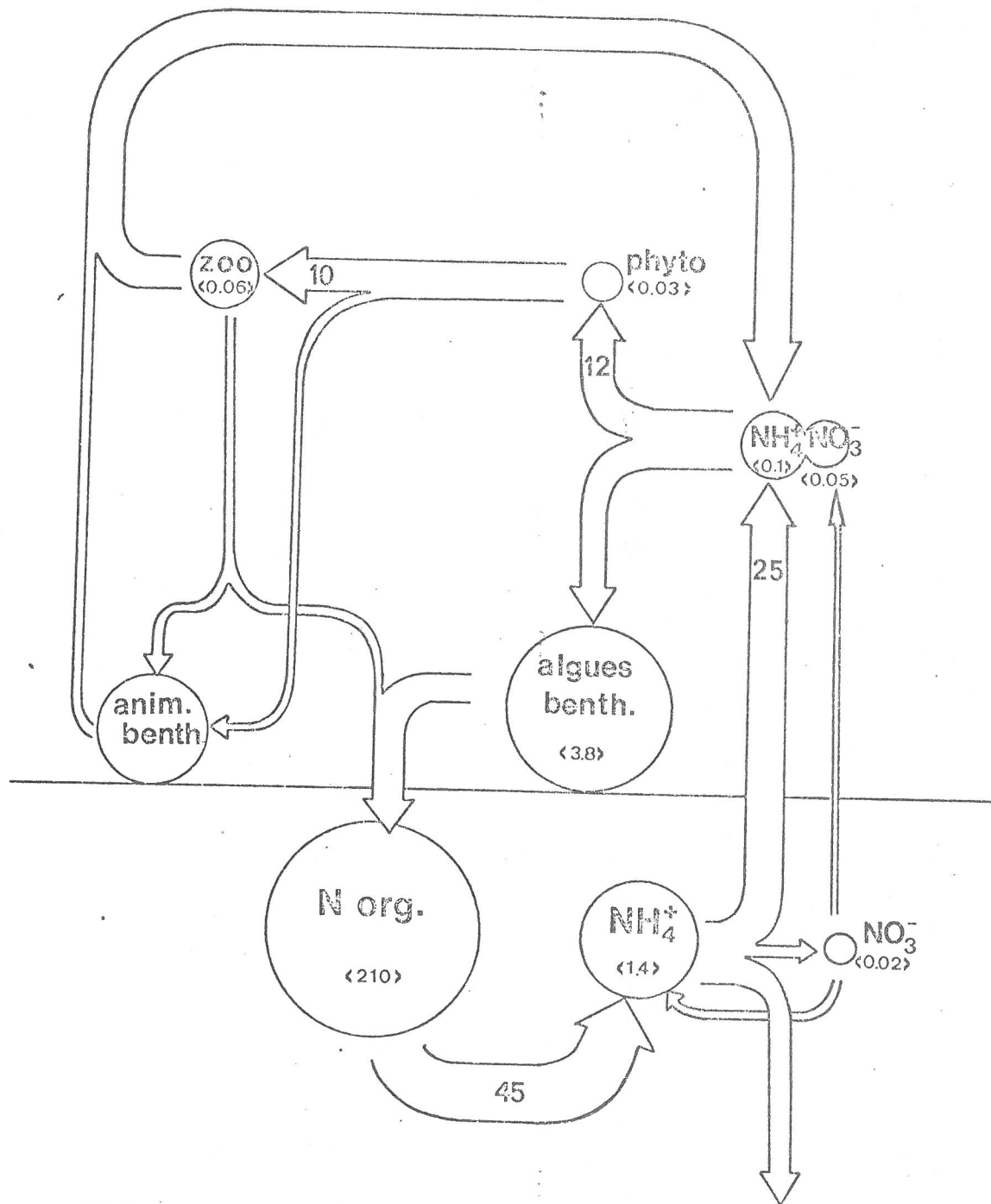
La production primaire potentielle dans un échantillon d'eau fraîche-ment prélevé est mesurée en incubateur (par la méthode de Steeman-Niel-~~sen~~sen) d'une part sans traitement, directement après addition de nutriments d'autre part. La stimulation de la photosynthèse produite par l'addi-tion de nutriments est exprimée en pourcentage de la valeur du témoin non traité.

| date | nutriment ajouté | concentration ajoutée | stimulation |
|------------|---------------------|--------------------------|-------------|
| 9.V.1973 | NH_4^+ | 5 μM | 5.3 % |
| | | 10 | 33.9 |
| | | 20 | 21.3 |
| | NO_3^- | 5 μM | 7.0 % |
| | | 10 | 18.7 |
| | | 20 | 18.1 |
| 27.VI.1973 | NH_4^+ | 5 μM | 10.6 % |
| | | 10 | 10.6 |
| | NO_3^- | 5 μM | 24.4 % |
| | | 10 | 15.5 |



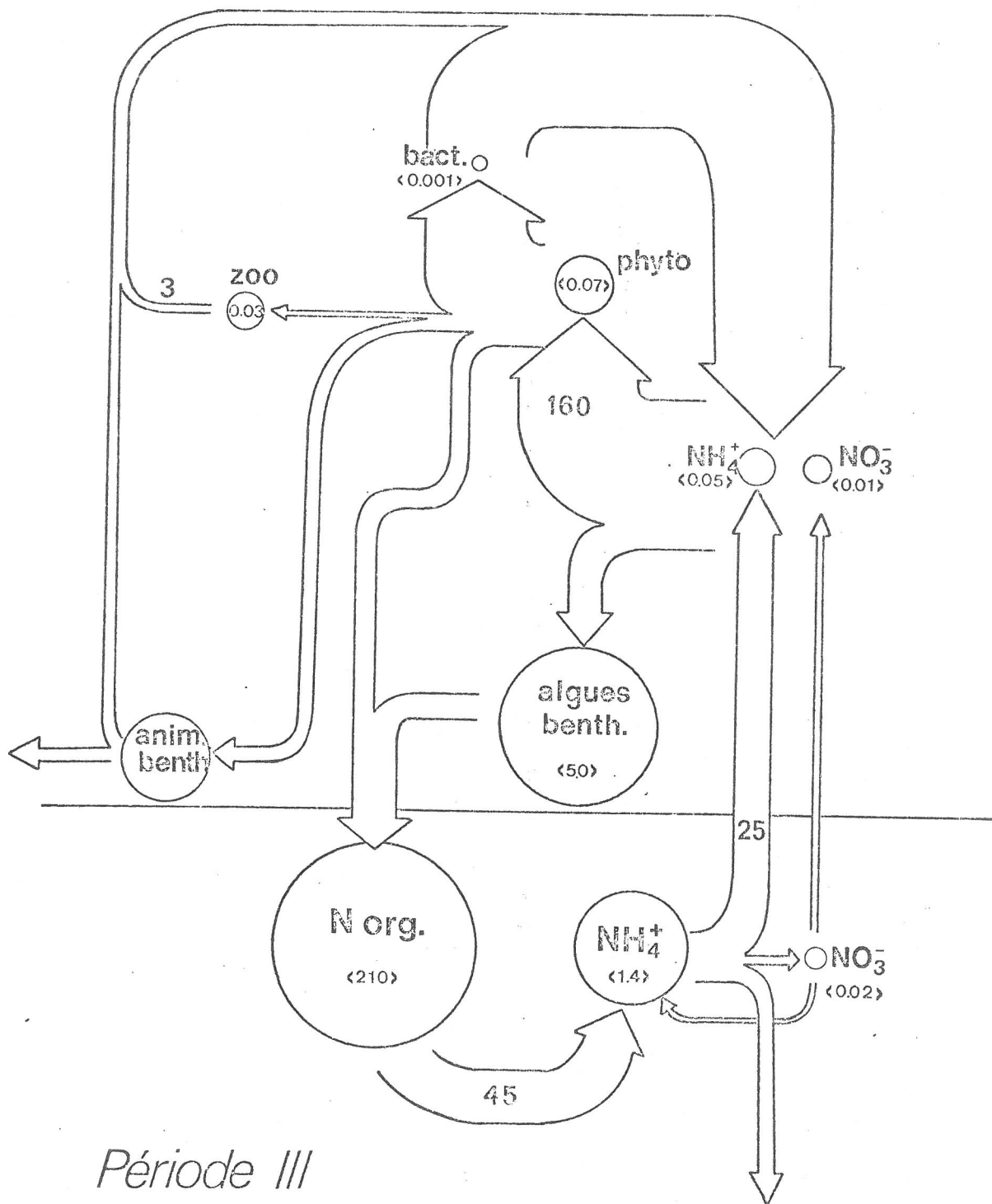
Période I (mars, avril)

flux: mgN/m².jour
masses: gN/m²



Période II (mai)

flux: mgN/m².jour
masses: gN/m²



Période III
(juin, juillet, août)

flux: mgN/m² jour
masses: mgN/m²